

Reporte de diseño del prototipo Baja SAE 2014 de la Universidad de Carabobo

Ender Morillo, Felipe Dossantos, Pablo Castro, Wilmer Rodríguez, Reynaldo Tortolero, Juan Guedez, Edmig Moreno, Jesús Moreno, Erick Páez, Erwin López, Carlos Barragan, Aaron Rodríguez.

Prof. Eva Monagas, Ing. Daniel Cavero
Faculty Advisor

RESUMEN

El diseño del prototipo de la Universidad de Carabobo, se fundamenta principalmente en las normas Baja SAE 2014, mejoramiento del desempeño respecto a prototipos anteriores, y en la ergonomía del piloto. El diseño se dividió en 6 áreas de análisis las cuales corresponden a chasis, suspensión, dirección, transmisión, frenos y ergonomía, las cuales presentan sus análisis de estructuración de las geometrías y simulaciones para evaluar comportamientos permitieron determinar los componentes del vehículo. Los análisis se realizaron con un programa CAD/CAE y los datos respecto a los prototipos anteriores son tomados en el Taller de Especialidades Mecánicas I. Los resultados muestran una disminución de peso lo cual mejora la relación peso-potencia así como el desempeño del sistema de frenos, modificación en el centro de gravedad para favorecer la maniobrabilidad

INTRODUCCIÓN

En relación al desarrollo de un prototipo Baja SAE, el equipo de la universidad de Carabobo se enfocó en analizar el desempeño de los vehículos anteriormente diseñados, en factores claves de una competencia internacional como lo son: dimensiones, comodidad del piloto, maniobrabilidad, aceleración y frenado, torque, reporte de costos y componentes, facilidad de construcción y reparación, disponibilidad de materiales, estandarización, entre otros.

Sin embargo, para este diseño se consideró por primera vez la comodidad del piloto, por lo que se fundamenta en la Ergonomía según Melo [1]. En el diseño de un prototipo Baja SAE la ergonomía del piloto, representa la adaptación del vehículo a las condiciones físicas de la persona que manejará el mismo, garantizando su comodidad a lo largo del tiempo que lleva el desarrollo de las pruebas a las cuales es sometido el prototipo.

En este caso, se desarrolló un diseño dividido en 6 áreas de estudio: chasis, suspensión, dirección, transmisión, frenos y ergonomía. Cada área estableció sus objetivos y parámetros de diseño independientes que en conjunto satisfacen el desarrollo de un vehículo basado en el

reglamento Baja SAE establecido por SAE Internacional® para el año 2014 [2].

OBJETIVOS DE DISEÑO

A continuación se presenta en la tabla N°1 el resumen de objetivos por área de estudio para el diseño del prototipo Baja SAE UC 2014.

Tabla N°1. Resumen de objetivos por área de estudio para el diseño del prototipo Baja SAE UC 2014.

Área de estudio	Objetivo general	Objetivos específicos
Chasis	Diseñar un chasis para un prototipo Baja SAE en base al espacio tridimensional permitido por la normativa de SAE Internacional, tomando en consideración la ergonomía del piloto.	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar una estructura capaz de absorber impactos, analizando escenarios de volcamiento, impacto frontal e impacto lateral. • Seleccionar el material a utilizar, tomando en cuenta las cargas que actúan sobre el sistema y el peso total. • Analizar los anclajes para los componentes de suspensión, de modo que el chasis pueda ayudar a absorber los impactos recibidos hacia estas zonas.
Dirección	Diseñar el sistema de mecánica del prototipo Baja SAE UC 2014, de fácil manejo, bajo peso y práctico para realizar ajustes.	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar un cajetín de dirección, tomando en cuenta el mayor desplazamiento lineal en el sistema piñón-cremallera con el menor número de vueltas en el volante aplicando efecto des-multiplicador. • Diseñar un brazo pitman por delante del punto de pivote de las ruedas capas de disminuir el radio de giro del prototipo con respecto a prototipos anteriores, basado en el criterio de Ackerman. • Definir las dimensiones del brazo y la caña de dirección, para determinar la lista de materiales y costos. • Determinar las fuerzas que actúan en el sistema y comparar éstas con los valores máximos que un ser humano puede para ajustar las características del diseño.

Tabla N°1 (cont.).

Área de estudio	Objetivo general	Objetivos específicos
Suspensión	Diseñar un sistema de suspensión delantera y trasera a utilizar para el prototipo Baja SAE UC 2014.	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar el conjunto de suspensión delantera, partiendo de la geometría de paralelogramo deformable. • Analizar el tipo de suspensión trasera a utilizar para proporcionar un mejor rendimiento. • Diagnosticar el trabajo en conjunto de las suspensiones traseras y delanteras para una mejor maniobrabilidad, tomando en consideración las fuerzas actuantes en la suspensión. • Probar un sistema de toe in y toe out variable en la suspensión trasera, para un mejor despeño en curvas, y un camber dinámico para una mejor tracción.
Transmisión	Diseñar un sistema de transmisión, que proporcione al vehículo una velocidad de 60 km/h y el suficiente par en las ruedas que permita al vehículo subir una pendiente de 60° grados.	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar una caja reductora con la menor cantidad de elementos posibles y menor peso, aprovechando el espacio acorde a las dimensiones del chasis. • Establecer una relación de transmisión con el fin de garantizar el suficiente par en las ruedas, que cumpla con las exigencias de velocidad en función de un buen rendimiento del prototipo.
Frenos	Diseñar un sistema de frenado, tomando en cuenta el reglamento Baja SAE Series® 2013 y las diferentes condiciones y fuerzas a las cuales será sometido el prototipo Baja SAEUC 2013.	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar el significado físico de las distintas fuerzas que actúan sobre el prototipo al momento del frenado bajo diferentes condiciones. • Diagnosticar un par de frenado superior al torque del sistema de transmisión para asegurar que el vehículo se detenga. • Diseñar un sistema de pedalera que se ajuste a las dimensiones del chasis para determinar la lista de materiales y costos.
Ergonomía	Diseñar un asiento que garantice la comodidad y seguridad del piloto en una competencia Baja SAE Series® en base a los conceptos y criterios de ergonomía establecidos en la regla B1.3 de la normativa Baja SAE Series 2014.	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnosticar mediante el análisis de criterios antropométricos y los aspectos de seguridad, las variables de ergonomía que deben aplicarse para la determinación de las dimensiones del asiento. • Diseñar un asiento basado en aspectos ergonómicos para disminuir el riesgo de lesiones del piloto por posiciones forzadas y/o inadecuadas para determinar la lista de materiales y costos del proyecto de seguridad. • Analizar comparativamente el riesgo del nuevo asiento respecto al anterior para determinar la variación de las condiciones ergonómicas mediante el método OWAS.

La figura 1 muestra el diseño global del prototipo de acuerdo a los objetivos básicos de diseño.



Figura N° 1 diseño virtual del prototipo Baja SAE UC 2014

SELECCIÓN DE MATERIALES

Partiendo de las normas Baja SAE 2014, especialmente la norma B 8.3.12 Roll Cage & Bracing Materials (B), que especifica que pueden ser utilizados miembros de acero que tengan mayor o igual rigidez de flexión y momento de flexión, que un tubo de acero 1018 de sección circular, con diámetro externo de 2,5cm (1 inch) y un espesor de 3 mm (0,120 inch). Se planteó la utilización para la jaula antivuelco y el habitáculo del motor acero 4130 normalizado de 1 1/8" y 1 1/4" de diámetro externo y un espesor de 0,125". Para los anclajes de suspensión se consideró acero 1020, y para las piezas y componentes adicionales de suspensión, dirección y transmisión se consideró utilizar acero 4340 y 1020. Para la construcción del prototipo se utilizó el método de soldadura GMAW con electrodo continuo de acero revestido con una delgada capa de cobre, que ofrece una excelente soldabilidad cuando se lo usa con mezcla de gas Argomix (Ar/CO2).

CHASIS

Partiendo de las normas Baja SAE 2014 [2], se plantea el diseño del chasis del vehículo constituido por la jaula antivuelco y el habitáculo del motor considerando la comodidad del piloto, para ello se propone una geometría que se observa en las figuras N° 2, la misma se genera partiendo de la utilización de acero 4130 normalizado con diámetros de 1 1/8" y 1 1/4", utilizando la menor cantidad de refuerzos con una mayor resistencia además de los que estipula la norma. En la figura N° 2 se aprecia el conjunto armado de la jaula antivuelco y el habitáculo del motor realizado en un programa CAD/CAE [3].

Considerando propiedades (masa y volumen) del resto de los elementos del vehículo tales como suspensión, transmisión, frenos y dirección se logra diseñar una jaula que permite mantener un centro de masa bajo (ver figura N°2) en comparación a los vehículos anteriormente diseñados, que además, permite mayor estabilidad al momento de la aplicación del sistema de frenos del vehículo.



Figura N° 2. Isometría renderizada del chasis.

Los tubos seleccionados para el nuevo diseño superan, en un 23% el momento de segundo orden; en un 23% la rigidez de flexión y en un 47% el momento de flexión de los tubos de acero 1018 especificados en las normas. Para el desarrollo del chasis se estudió con un programa CAD/CAE [4] 3 situaciones de colisión, cuyos resultados se observan en la tabla N° 2.

Tabla N° 2 parámetros obtenidos del análisis de las situaciones de colisión utilizando un programa CAD/CAE

Situación de colisión	Carga aplicada	Factor de seguridad	Deformación
Impacto frontal	3000 N	3.1	0.46 mm
Impacto lateral	3000 N	1.2	1.4mm
Volcamiento	3000 N	2	0.1 mm
torsión	800 N-m	1.8	8.6mm

Para maximizar el funcionamiento del sistema de suspensión y del sistema de dirección se dispuso una inclinación en la parte frontal del vehículo de 12.3° que se aprecia en la vista lateral evidenciada en la figura N° 3.

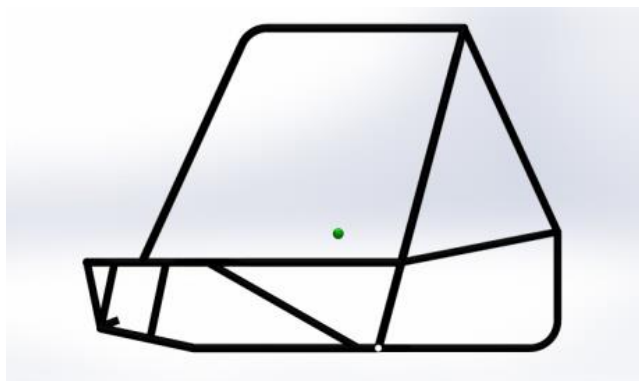


Figura N° 3. Vista lateral

SUSPENSIÓN

La suspensión del vehículo constituye uno de los sistemas más importantes para garantizar la comodidad del piloto. Según Pimentel (2007) "El sistema de suspensión en un automóvil es un conjunto de

mecanismos encargados de absorber los movimientos bruscos que producirán efectos indeseables en el chasis, por efecto de las irregularidades del camino, proporcionando una marcha suave, estable y segura" [5].

Para la suspensión delantera se propone una configuración Dual unequal length A-Arm, KYB shocks, Adj. Roll bar, que permite vincular el porta masa con el chasis, previniendo deflexiones durante una viraje severo, lo que asegura que la dirección y la alineación de las ruedas permanezca constante. Este tipo de suspensión proporciona un camber dinámico lo que mantiene el caucho perpendicular al piso dando así un máximo poder de viraje. Aunado a esto este tipo de configuración en comparación a las demás mantiene el vehículo estable bajo condiciones de terreno accidentado. En la figura N° 4 se muestra la geometría seleccionada para el diseño de la suspensión delantera.

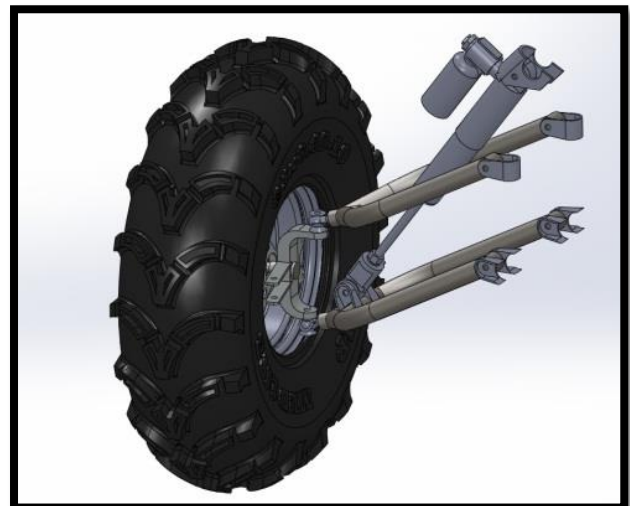


Figura N° 4. Geometría escogida de la suspensión delantera.

Para la suspensión trasera se propone una configuración Semi trailing-Arm, KYB shocks, Adj. Roll bar. Este tipo de distribución fue escogida debido a que el sistema posee menor cantidad de elementos, y comparado con la meseta de arrastre esta genera un camber y toe dinámicos, sin la necesidad de utilizar barra estabilizadora, lo que manifiesta la simplicidad del sistema de suspensión trasera garantizando una mayor estabilidad en la parte posterior del vehículo. En la figura N° 5 se muestra la geometría seleccionada para el diseño de la suspensión trasera.

Una vez seleccionada la geometría se estableció el diseño de los componentes de la suspensión partiendo de condiciones críticas a las cuales estaría sometido el prototipo, la geometría de los mismos fue analizada a través de un programa CAD/CAE [4]. Con el mismo software se simuló el comportamiento del conjunto armado.

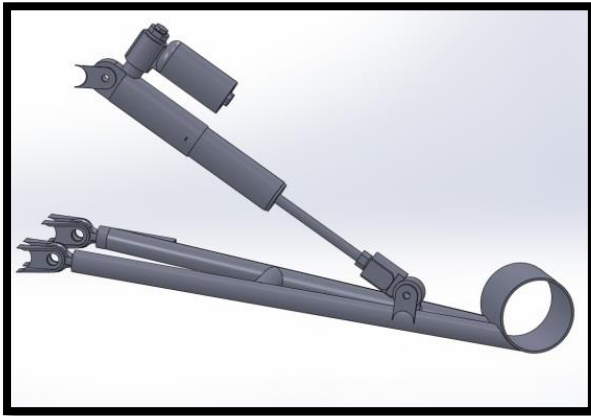


Figura Nº 5. Geometría escogida para la suspensión trasera – meseta de semi-arrastre.

DIRECCIÓN

Se propone un sistema de dirección mecánica basado en el criterio de Ackerman inverso. Constituida por un volante, caña de dirección, cajetín de dirección, brazos de dirección y brazos pitman por delante del punto de pivote. La selección y diseño de los elementos se hizo en base a un radio de giro de 2mts. Para definir la dimensión de los brazos pitman se utilizó un método de tanteo, partiendo de las dimensiones del brazo pitman del prototipo baja SAEUC 2011 considerando que se encuentra por delante del punto de pivote, utilizando los datos obtenidos y un programa CAD/CAE [3], se obtuvo la geometría con menor peso y las medidas expresadas en la figura Nº 6.

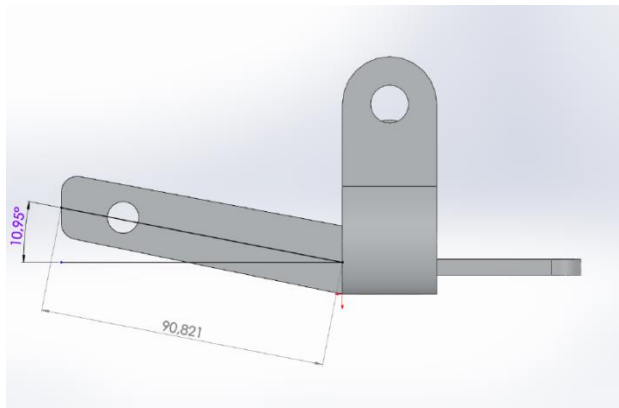


Figura 6. Dimensiones del Brazo Pitman en el Portamasas (en mm.).

Para seleccionar el cajetín de dirección, se estipuló dar la menor cantidad de vueltas al volante por lo que se determinó el diámetro del piñón y el torque del mismo partiendo de las fuerzas actuantes en las ruedas delanteras y un desplazamiento de la cremallera de 7/8 de vuelta de tope a tope, se realizó considerando una distribución de peso reflejada en la figura Nº 7.

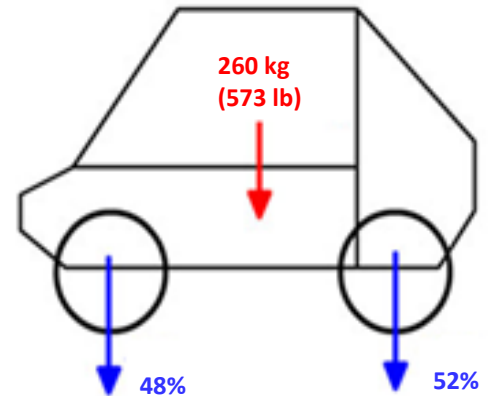


Figura Nº 7. Distribución del peso.

Se seleccionó un cajetín de dirección de tipo Piñón/Cremallera modelo C42-334 FAST RACK N-PINION 6.4:1. con 7/8 de vueltas de giro, 4^{1/2}” de desplazamiento longitudinal, bajo peso y un tamaño pequeño. Ideal para que no entorpezca el espacio dentro de la cabina del conductor. El volante se fabricó con un diámetro de 250mm. Éste se colocó a un ángulo con respecto a la vertical de 45°, el cual fue definido por la colocación del cajetín de dirección en la parte frontal del vehículo, que en conjunto con la geometría del chasis y el espacio dentro del habitáculo del piloto, permitieron la colocación del volante en una posición cómoda de manejo para el piloto.

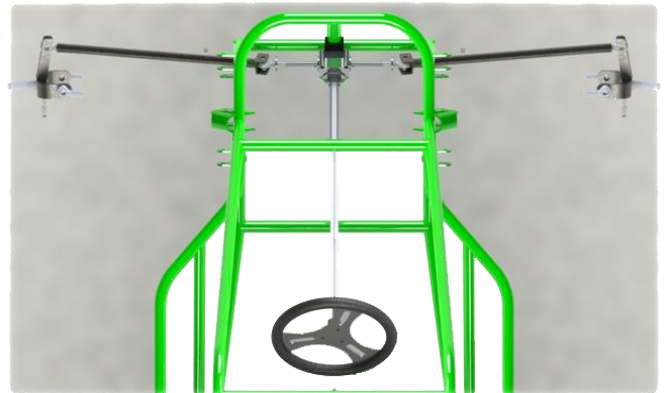


Figura Nº 8 Vista Superior del esquema de montaje de la dirección del prototipo Baja SAE UC 2014

TRANSMISIÓN

El principal componente de la transmisión es el motor Briggs&Stratton205332 0536-B1 pre-establecido por la norma Baja SAE, que da 18,65 N-m (13,76 lb-ft) de torque a 2600 RPM y 10 CV a 3800 RPM. El sistema está compuesto por una transmisión continuamente variable marca CV-Tech® cuyas características se aprecian en la Tabla Nº 3, y una caja reductora de configuración piñón – cadena – corona construida por los estudiantes con una relación de transmisión máxima de 10.8. Con esta

configuración se logra un torque máximo de 600 N-m (422.53 lbs-ft) en el eje final de acero 4340 con un factor de seguridad de 1.39 y una velocidad final teórica de 64 km/h (40mph)

Tabla Nº 3: Resumen de características de la CVT

Distancia entre ejes (mm)	232
Relación Máxima	0.43:1
Relación Mínima	3.0:1
Código de la correa	BD52-2179-S



Figura Nº 9 Esquema de montaje del sistema de transmisión del prototipo Baja SAE UC 2014

FRENOS

Para el diseño del sistema de frenos se plantearon 3 situaciones hipotéticas bajo las que estaría sometido el prototipo, resultando la más crítica la situación donde el vehículo se desplaza bajando una pendiente considerando los valores de la tabla Nº5.

Tabla Nº 5 Datos necesarios para el cálculo del sistema de frenos

Inclinación de pendiente	35 grados
Peso del vehículo	260 kg
Velocidad Máxima	40 mph
Torque máximo del motor	212 N-m a 2600 rpm
Carga aplicada al pedal de freno	50 kg
Relación de longitud del pedal	5:1

Se plantea un sistema de frenos hidráulico de discos ventilados para cada rueda delantera con un ángulo de pastilla respecto al disco de 0,36 radianes, y un disco de 7" de diámetro y un sistema de frenos hidráulicos de discos ventilados para el eje final con un ángulo de 0.8 radianes y diámetro de 8". Se calcula el par de frenado delantero y trasero según Shigley J. (2006) [6]. Con los datos suministrados se calculó torque generado por el sistema de Frenado que resulto en 410 N*m y 310 N *m para el delantero y trasero respectivamente, cada uno de

estos valores son superiores a los del sistema de transmisión, asegurando así una frenada satisfactoria,

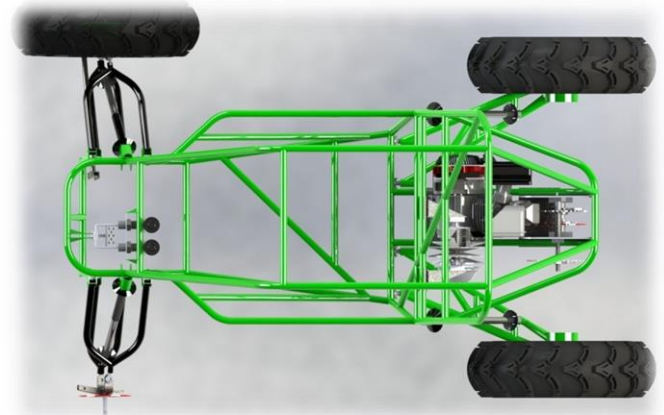


Figura Nº 10 Vista Superior del esquema de montaje del sistema de frenos del prototipo Baja SAE UC 2014

ERGONOMÍA

Se planteo, el diseño del asiento, en tres fases de estudio donde en función a datos antropométricos, mediciones y normativas Baja SAE se obtuvieron las medidas del asiento estipuladas en la tabla Nº 6

Tabla Nº 6 Características del espaldar del asiento del prototipo BAJA SAE UC 2013.

Tipo de Medida	Soporte Lumbar	Espaldar
Altura (Parte de contacto con la espalda)	15 cm	40 cm
Espesor del acolchado	8,5 cm	3,5 cm
Tipo de Material de relleno	Goma espuma con memoria, más rígida.	Goma espuma sin memoria, menos rígida.
Ancho (Parte de contacto con la espalda)	34 cm	41 cm (altura de los brazos) 34 cm (altura de los hombros)

Considerando como parámetro principal de diseño la seguridad, y la posición de manejo como un factor importante en cuanto a las causas que generan lesiones musculoesqueléticas, se tiene un beneficio en cuanto al confort debido al ajuste en la posición de manejo con respecto a prototipos anteriores. En cuanto a la retención lateral para evitar la fatiga en el cinturón de seguridad, se evita el deslizamiento tanto lateral como frontal, mejorando también la seguridad en este aspecto. El asiento ya con la lámina de aluminio adaptada a la estructura principal se muestra en la figura Nº 6.

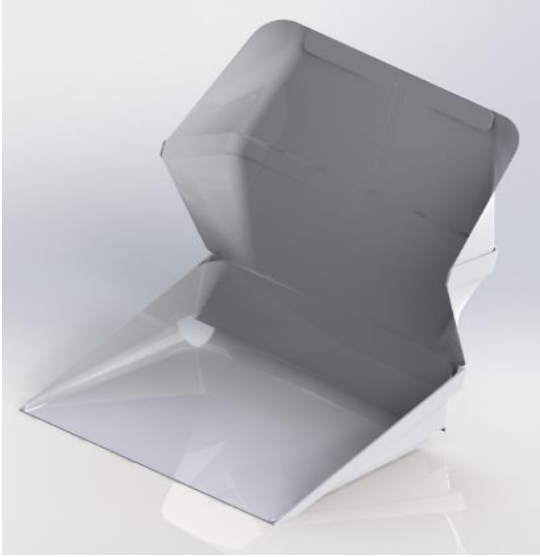


Figura N° 6: Diseño estructural del asiento.

CONCLUSION

El diseño del prototipo Baja SAE UC 2014 presenta mejoras respecto a los diseños 2005 y 2010 en cuanto a: a) la relación peso-potencia mediante disminución de peso y mejora de la transmisión que permite mantener el torque a mayor velocidad, b) desempeño del sistema de frenos debido a la disminución del peso, c) mejora de la maniobrabilidad debido a ubicación del centro de masa más cerca del piso, d) atención al diseño ergonómico.

Las partes y componentes fueron consolidadas para la procura de los materiales requeridos así como para la elaboración del reporte de costos (Cost Report), el cual es documento necesario para la presentación en las competencias.

REFERENCES

- [1] Melo J. (2009) .Ergonomía Práctica, Guía para la evaluación Ergonómica de un puesto de trabajo. Argentina, Fundación Mapfre.
- [2] 2014 Collegiate Design Series, Baja SAE® Series Rules, SAE INTERNATIONAL
- [3] SolidWorks Student License Program SEK-ID = XSEK12.
- [4] Shigley J. (2006). *Diseño en ingeniería Mecánica*. Editorial Mc Graw Hill.
- [5] SolidWorks CAD Premium; SolidNetwork License Manager N° Serial: 9010007922927182JBPD35D4
- [6] Pimentel, A. (2007). *Validación de componentes para una suspensión neumática en un vehículo utilitario*.

Trabajo para obtener el título de grado. Instituto Politécnico Nacional. México.

FUENTES ADICIONALES.

Aguilar, A (2003). *Diseño de la suspensión y dirección de un carro todo terreno tipo sae mini baja. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias en ingeniería mecánica. Instituto politécnico nacional. México.*

“Metal Handbook”, “bending and forming tubes”. 8va Edición, Volumen 4 Forming

Singer F. Pytel A., (1994). ***Resistencia de materiales Cuarta Edición.***

Mott, Robert L. (2006). ***Diseño de Elementos de Maquinas, cuarta edición.*** Pearson Education. Mexico.

Norton R. (2007). ***Diseño de máquinas.*** Editorial Pearson.